

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТАМ
ИПО "Всесоюзный научно-исследовательский институт
метрологии им. Д. И. Менделеева"
(ИПО "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева")



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ
М и 1604-84

Ленинград
1986

Разработаны Научно-производственным объединением
"Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии
им.Д.И.Менделеева" (НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева")

Исполнители: В.И.Лагутин, канд.техн.наук (руководитель темы);
Н.И.Григорович

Подготовлены к утверждению сектором законодательной метрологии
НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева"

Начальник сектора	М.Н.Селиванов
Ведущий инженер	И.А.Евреинов
Старший инженер	Е.А.Соколова

Утверждены НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ
М И 1607-87

ВЗАМЕН МИ 108-76
Введены в действие
с

Настоящие методические указания (далее - МУ) распространяются на рабочие термопреобразователи (термоэлектрические, сопротивления, полупроводниковые и др.) и термометры, предназначенные для измерения температуры плоских поверхностей твердых тел контактным способом в диапазоне от 20 до 500 °C, и устанавливают методику их первичной и периодической поверок.

I. ОПЕРАЦИЯ ПОВЕРКИ

I.1. При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в табл. I.

Таблица I

Наименование операции	Номер пункта МУ	Обязательность проведения операции при	
		первичной проверке	эксплуатации и хранении
1. Внешний осмотр	5.1.	Да	Да
2. Проверка электрического сопротивления изоляции	5.2.	Да	Да
3. Определение номинальной статической характеристики чувствительного элемента термопреобразователя (термометра)	5.3.	Да	Да

Продолжение табл. I

Наименование операции	Номер пункта МУ	Обязательность проведения операции при	
		первичной проверке	эксплуатации и хранении
4. Определение поправок к показаниям термопреобразователя (термометра) при измерении температуры поверхности	5.4	Нет	Да
5. Определение поправок к показаниям термопреобразователя (термометра) при измерении температуры поверхности в условиях, отличных от условий градуировки	5.5.	Нет	Да

Примечание. Допускается проверку по п.2 не проводить, а совместить с проверкой по п.3, определяя при этом зависимость показаний термопреобразователя (термометра) от температуры поверхности.

2. СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

2.1. При проведении поверки должны быть применены средства, указанные в табл.2.

Таблица 2

Номер пункта МУ	Наименование средств поверки и их нормативно-технические характеристики
5.3.	Образцовые ртутные стеклянные термометры 3-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.080-80 (диапазон измерения температуры от 0 до 600 °C, погрешность от 0,03 до 3,0 °C); образцовые платинородий-платиновые термоэлектрические термометры 3-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.080-80 (диапазон измерения температуры от 0 до 1200 °C, погрешность от 0,8 до 2,0 °C); установка УТТ-6ВМЦ, диапазон измерения температуры от 0 до 1200 °C.

Продолжение табл.2

Номер пункта МУ	Наименование средств поверки и их нормативно-технические характеристики
5.4.	Комплекс аппаратуры УГП-2, диапазон измерения температуры от 20 до 500 °C, погрешность поддержания температуры поверхности $(0,2 + 0,002t) ^\circ\text{C}$
5.2.	Мегаомметр типа М ПОИ М по ГОСТ 23706-79

2.2. Допускается применять другие средства поверки и поверочные установки, прошедшие метрологическую аттестацию или поверенные в органах государственной метрологической службы и удовлетворяющие требованиям настоящих МУ.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. При поверке термопреобразователей и термометров должны соблюдаться "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденные Госэнергонадзором, и требования, установленные ГОСТ 12.2.007.0-75.

4. УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

4.1. При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

температура окружающего воздуха	$(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$
атмосферное давление	$(100 \pm 4) \text{ кПа}$
относительная влажность	$(6 \pm 15) \%$
условия теплообмена с окружающей средой	естественная конвекция (коэффициент теплообмена около $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

материал поверхности градиурмировочной плиты установки УГП-2

нержавеющая сталь марки Х18Н10Т

4.2. Перед проведением поверки должны быть выполнены подготовительные работы, предусмотренные техническим описанием на применяемые средства измерения.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

5.1. Внешний осмотр

5.1.1. При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие поверяемых средств измерений следующим требованиям: рабочая поверхность поверяемого средства измерения должна быть без вмятин, царапин и следов коррозии. Маркировка поверяемого средства измерений должна соответствовать его паспорту.

5.2. Проверка электрического сопротивления изоляции – по ГОСТ 6651-84 (термообразователи сопротивления), ГОСТ 6616-74 (преобразователи термоэлектрические) или в соответствии с требованиями ТУ на другие типы термообразователей.

5.3. Определение номинальной статической характеристики преобразования

Определение номинальной статической характеристики преобразования термообразователей (термометров) в зависимости от их типов проводить по ГОСТ 8.461-82, ГОСТ 8.338-78 или в соответствии с НТД на поверяемые средства измерений.

Для термообразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей номинальная статическая характеристика преобразования должна соответствовать требованиям ГОСТ 6651-84 и ГОСТ 3044-84, соответственно. Для других типов термообразователей (термометров) номинальная статическая характеристика преобразования должна соответствовать установленной в НТД на поверяемое средство измерения.

5.4. Определение поправок к показаниям термо преобразователя (термометра) при измерении температуры поверхности

5.4.1. Определение поправок к показаниям термо преобразователя (термометра) при измерении температуры поверхности производят на комплексе аппаратуры УГТП-2.

5.4.2. Поправки к показаниям термо преобразователя (термометра) определяют при максимальной температуре его применения.

5.4.3. Устанавливают на поверхности градуировочной плиты установки УГТП-2 необходимую температуру. После достижения стационарного режима определяют температуру поверхности плиты t_n по формуле

$$t_n = t_4 - \frac{h(t_4 - t_1)}{h_{14}},$$

где h_4 - расстояние от поверхности градуировочной плиты до места расположения 4-й термопары внутри плиты (для установки УГТП-2 $h_4 = 28$ мм);

h_{14} - расстояние между 1-й и 4-й термопарами (для УГТП-2 $h_{14} = 21$ мм);

t_1, t_4 - температура в 1-й и 4-й точках по высоте плиты.

5.4.4. Устанавливают поверяемый термо преобразователь (термометр) на поверхности плиты.

5.4.5. Снимают показания поверяемого термо преобразователя (термометра) t_T в соответствии с методикой, изложенной в НТД на поверяемое средство измерения.

5.4.6. Определяют поправку Δt_{max} термо преобразователя (термометра) при максимальной температуре его применения

$$\Delta t_{max} = t_n - t_T.$$

5.4.7. Вычисляют поправки Δt_i соответствующие промежуточным температурам заданного диапазона применения термопреобразователя (термометра), путем линейной интерполяции. Второй базовой точкой является температура поверхности пластины, равная температуре окружающей среды, когда поправка Δt_i равна нулю.

5.4.8. Поправка Δt_i не должна превышать значений, указанных в ИТД на конкретный термопреобразователь (термометр).

5.5. Поправки к показаниям термопреобразователя (термометра) при измерении температуры поверхности в условиях, отличных от условий градуировки (п.4.1) определяют по методу, изложенному в Приложении 2.

6. СОВОЛНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

6.1. На термопреобразователь (термометр), удовлетворяющий требованиям настоящих НУ, выдают свидетельство о поверке установленной формы. Форма оберточной стороны свидетельства приведена в Приложении I.

6.2. Термопреобразователи (термометры), не удовлетворяющие требованиям настоящих НУ, к выпуску в обращение и к применению не допускают, и на них выдают извещения о непригодности с указанием причин.

Начальник НИС

Б.Н. Олейник

Начальник сектора
законодательной гидрометрологии

М.И. Селиванов

Начальник лаборатории

А.И. Походун

Руководитель темы
и исполнитель

К.Г. Черкасова

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Справочное

Форма обратной стороны свидетельства
о поверке термопреобразователя (термометра)

I. Определение статической номинальной характеристики (НСХ)
преобразования термопреобразователя (термометра).

Температура, °C	Показания термометра
_____	_____

Градуировка произведена в термостате типа _____
сличимися с образцами 3-го разряда ртутными стеклянными термометрами и образцовыми 3-го разряда платинородий-платиновыми термометрами.

2. Определение поправок термопреобразователя (термометра) на поверхности градуировочной плиты установки УГПИ-2.

Температура поверхности t_n , °C	Показания термометра, t_T , °C	Поправка, $\Delta t_i = t_n - t_T$, °C
_____	_____	_____

Градуировка произведена на поверхности массивной плиты из нержавеющей стали марки Х18Н10Т (параметр шероховатости R_a от 0,32 до 0,25 мкм), при нормальных окружающих условиях.

Поверитель

Дата поверки

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

Учет различий условий градуировки
и эксплуатации термометра

Поправка Δt_i экспериментально определена на поверхности массивной плиты из нержавеющей стали марки Х18Н10Т (параметр шероховатости Ra от 0,32 до 0,25 мкм), усилие прижима 5 - 15 Н, при нормальных окружающих условиях: атмосферное давление (100 ± 4) кПа, относительная влажность (65 ± 15) %, температура окружающей среды (20 ± 5) °C, условия теплообмена с окружающей средой - естественная конвекция.

В случае отличия условий эксплуатации термометра от условий его градуировки производят пересчет поправки Δt_i . Для этой цели определяют температуру поверхности плиты (при заданной температуре градуировки) до установления термометра t_n и после его установления t'_n . Тогда поправку Δt_i рассчитывают по формуле:

$$\Delta t_i = \frac{\Lambda_0 \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}} - \alpha_t \sigma}{\Lambda_0 + \Lambda_0 \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}}} t_n + \frac{\Lambda_0 \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}}}{\Lambda_K} t'_n,$$

где Λ_0 - тепловая проводимость контролируемого объекта, Вт/°C;

Λ_T - тепловая проводимость термометра между его чувствительным элементом и окружающей средой, Вт/°C;

Λ_K - тепловая проводимость между чувствительным элементом термометра и контролируемой поверхностью, Вт/°C;

Λ_3 - эквивалентная тепловая проводимость термометра и контактного слоя, Вт/°C;

α_t - коэффициент теплообмена поверхности плиты с окружающей средой при температуре поверхности плиты, равной в условиях эксплуатации, Вт/(м²·°C);

α_{30} - коэффициент теплообмена поверхности с окружающей средой при температуре поверхности плиты, равной 30°C ;
в условиях естественной конвекции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

b - площадь теплового контакта термометра с контролируемой поверхностью, м^2 .

Тепловая проводимость контролируемого объекта Λ_0 является функцией материала, размеров контролируемого объекта и конструкции измерителя температуры поверхности. Значение теплопроводности расчитывают по формулам:

для массивных тел (диаметр и толщина не менее чем в 10 раз превышают размер контакта)

$$\Lambda_0 = \frac{3}{8} \pi^2 r \lambda_0 ;$$

для тонких пластин (толщина менее $1 \cdot 10^{-2}$ м) и

для металлических пластин (толщина менее $0,5 \cdot 10^{-3}$ м - для изоляционных материалов)

$$\Lambda_0 = 2\pi \lambda_0 \delta \mu r \frac{K_1(\mu r)}{K_0(\mu r)},$$

где $\mu = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\lambda_0 \delta}}$;

λ_0 - коэффициент теплопроводности материала пластинки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

δ - толщина пластины, м;

r - радиус пятна теплового контакта термометра с поверхностью, м;

α_1, α_2 - коэффициенты теплообмена с обеих сторон пластины, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$K_0(\mu r)$ - модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядков.

Тепловая проводимость термометра Λ_T характеризует конструкцию термометра, а тепловая проводимость контактного слоя Λ_K характеризует условия теплового контакта термометра с поверхностью и зависит от чистоты обработки, материала контролируемого объекта и усилия прижима термометра к поверхности. Значения Λ_T и Λ_K определяют экспериментально следующим образом.

I. Определение тепловой проводимости термометра Λ_T

I.1. Устанавливают между градуированным термометром и поверхностью градуировочной плиты дополнительное тепловое сопротивление R_w с известным значением.

I.2. При температуре поверхности, равной $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ определяют температуру термометра t'_T .

I.3. Повторяют операцию п. I.2 без дополнительного теплового сопротивления, определяя температуру термометра t_T .

I.4. Вычисляют тепловую проводимость термометра по формуле

$$\Lambda_T = \frac{\sigma}{R_w} t_n \left(\frac{1}{t'_T} - \frac{1}{t_T} \right).$$

2. Определяют тепловую проводимость контактного слоя между чувствительным элементом термометра и поверхностью по формуле

$$\Lambda_K = \frac{\sigma}{R_w} \frac{t_n (t_T - t'_T)}{t'_T (t_n - t_T)}.$$

3. Эквивалентную тепловую проводимость термометра и контактного слоя вычисляют по формуле

$$\Lambda_3 = \frac{\Lambda_K \cdot \Lambda_T}{\Lambda_K + \Lambda_T}.$$

Пример. Термометр предназначен для измерения температуры поверхности изоляционного материала (шамот) в условиях обдува воздухом со скоростью 16 м/с. Температура поверхности объекта $t_n = 50^{\circ}\text{C}$.

Поправку к показаниям термометра рассчитывают по формуле

$$\Delta t = \frac{\Lambda_3 \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}} - \alpha_t \sigma}{\Lambda_o + \Lambda_3 \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}}} \cdot t_n + \frac{\Lambda_o \frac{\alpha_t}{\alpha_{30}}}{\Lambda_K} \cdot t_n'$$

(обозначения к формуле раскрыты ранее).

Тепловая проводимость объекта

$$\Lambda_o = 190 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}$$

Тепловые проводимости термометра (Λ_T), контактного слоя (Λ_K) и эквивалентная (Λ_3), экспериментально определенные в соответствии с разделом 1 настоящего приложения, равны:

$$\Lambda_T = 29,7 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

$$\Lambda_K = 600 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

$$\Lambda_3 = 28,3 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} .$$

Коэффициент теплообмена поверхности плиты с окружающей средой α_t при скорости обдува 16 м/с равен $64,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

Коэффициент теплообмена поверхности плиты в условиях естественной конвекции при температуре поверхности 30°C

$$\alpha_{30} = 10 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}.$$

Площадь теплового контакта термометра с контролируемой поверхностью $\sigma = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Подставляя расчетно-экспериментальные данные в формулу для определения поправки, получаем

$$\Delta t = 13,5^{\circ}\text{C}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ З
Справочное

Аппаратура для градуировки измерителей температуры поверхности твердых тел контактным способом (установка УГТи-2)

В комплект аппаратуры для градуировки измерителей температуры поверхности входят:

I. Установка для градуировки чувствительных элементов термометров методом погружения, включающая:

термостат нулевой ТН-5 для определения сопротивления чувствительного элемента термометра (R_0) при 0 $^{\circ}\text{C}$;

термостат паровой ТН-5 для определения сопротивления чувствительного элемента термометра (R_{100}) при 100 $^{\circ}\text{C}$;

термостат водяной для градуировки чувствительного элемента термометра в диапазоне 20 - 95 $^{\circ}\text{C}$;

термостат масляный для градуировки чувствительного элемента термометра в диапазоне 100 - 300 $^{\circ}\text{C}$:

печь СУОП 04.4/12 для градуировки чувствительного элемента термометра в диапазоне до 500 $^{\circ}\text{C}$.

II. Установка для определения поправок на теплообмен контактного термометра с поверхностью объекта и окружающей средой (температурный диапазон 20 - 500 $^{\circ}\text{C}$).

III. Набор образцовых ртутных стеклянных термометров 3-го разряда; образцовый платинородий-платиновый термоэлектрический термометр 3-го разряда.

IV. Измерительный пульт.

В качестве поверхности градуировочного объекта выбрана поверхность массивной плиты (для поверхности градуировочной плиты параметр шероховатости Ra от 0,32 до 0,25 мкм) из нержавеющей стали марки Х18Н10Т.

Для создания градиента температурного поля плиты установлена на плоском нагревателе. С целью выравнивания температурного поля Соковая поверхность плиты окружена охранным нагревателем. Плита с нагревателем изолирована от окружающей среды памотной кроекой.

Для определения исискаженной и истинной температур поверхности необходимо знать температурное поле. Для этой цели внутри плиты расположено четыре дифференциальных термопары, позволяющих определять температуру в различных точках по высоте и радиусу плиты ($t_1 - t_4$). Холодные спай термопар помещены в сосуд Дьюара с маслом с фиксируемой комнатной температурой ($t_{x.c.}$). Контрольные термопары через бессторкоточный переключатель соединены с потенциометрической установкой, на которой измеряют Т ЭД С..

Установка снабжена системой автоматического регулирования и поддержания температуры поверхности градуировочной плиты.